

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Разработана интеллектуальная система совершенствования процессов обработки давлением труднодеформируемых металлов и металлических композитов волокнистого строения. Применение системы показано на примере гидромеханического выдавливания. При этом значительно снижается давление выдавливания и степень неоднородности деформации, уменьшается контакт заготовки с инструментом, что особенно актуально для металлов, налипающих на инструмент.

Ключевые слова: интеллектуальная система, обработка металлов давлением, гидромеханическое выдавливание.

AN INTELLIGENT SYSTEM FOR IMPROVING THE METAL FORMING PROCESSES

An intelligent system has been developed to improve the metal forming processes of difficultly deformed metals and metal composites of a fibrous structure. The application of the system is shown by the example of hydromechanical extrusion. In this case, the extrusion pressure and the degree of deformation heterogeneity are significantly reduced, the contact of the workpiece with the tool is reduced, which is especially important for metals adhering to the tool.

Keywords: intelligent system, metal forming, hydromechanical extrusion.

Целью исследования является разработка интеллектуальной системы совершенствования процессов обработки давлением труднодеформируемых неоднородных металлических материалов и композитов (далее — ИС).

Применение экспериментально-аналитического метода [1] позволяет сформировать Базу знаний, содержащую закон движения материальных частиц, физические уравнения и диаграммы пластичности компонентов структурно-неоднородного материала, которые устанавливаются экспериментально.

При построении ИС исходили из того, что на выходе системы необходимо получать обработанные и обобщенные экспериментальные данные, а также полученные на основе этих данных математические модели исследуемого процесса. Адекватность и точность таких моделей обеспечивается всем комплексом методических, программных и других средств системы.

Целью создания ИС являлось повышение эффективности и качества научных исследований на основе получения и уточнения с помощью системы математических моделей обработки металлов давлением, а также применения этих моделей для проектирования, прогнозирования и управления.

Достижение целей создания ИС обеспечивается путем систематизации и совершенствования

исследуемых процессов на основе применения математических методов и средств вычислительной техники, применения эффективных математических методов организации и планирования экспериментов, использования методов обработки и представления результатов научных исследований и испытаний в виде математических моделей, имеющих заданную форму, а также замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием.

Основная функция ИС состоит в получении результатов научных исследований путем автоматизированной обработки экспериментальных данных и другой информации, получения и исследования моделей процессов обработки давлением на основе применения математических методов, интеллектуальных процедур, планирования и управления экспериментом.

Рассмотрим применение ИС для совершенствования процесса гидромеханического выдавливания (далее — ГМВ).

Применение ГМВ позволяет реализовать полужидкостный режим трения выдавливаемой заготовки о стенки контейнера и канал матрицы [2], обеспечивая активное действие сил трения за счет опережающего движения слоя смазки относительно заготовки [3]. При этом значительно снижается давление выдавливания и степень неоднородности

деформации, уменьшается контакт заготовки с инструментом, что особенно актуально для металлов, налипающих на инструмент [2].

Для реализации ГМВ используются различные CAD и CAE системы [3]. Основными геометрическими параметрами инструмента являются длина и диаметр контейнера, угол конусности и длина калибрующего пояса матрицы, подробно рассмотренные в работах [2; 3].

Основными структурными звеньями системы являются подсистемы, под которыми понимаем выделенные по некоторым признакам части системы, обеспечивающие выполнение определенных автоматизированных процедур исследований и получение соответствующих выходных документов.

В составе ИС отметим объектно-ориентированные и обслуживающие подсистемы, а также выделенную отдельно подсистему управления Базой данных и Базой знаний.

Объектно-ориентированные подсистемы осуществляют получение и обработку экспериментальных данных, получаемых при реализации ГМВ. Они выполняют функции обработки экспериментальных данных, получаемых со специализированных испытательных стендов. Например, применяемая для реализации ГМВ рабочая среда (одновременно является технологической смазкой) для выдавливания должна обладать определенными физико-механическими свойствами, обеспечивающими полное разделение поверхности заготовки и инструмента при рабочих давлениях. Она должна обладать хорошей адгезией и иметь высокую пластичность, обеспечивающую сплошность покрытия при деформации до 80–90 %. При этом важнейшим параметром рабочей среды является сопротивление сдвигу и вязкость в рабочих условиях. Данные зависимости, представленные аналитически математической моделью в общем виде, являются гипотезами, составляющими основу Базы знаний.

Например, одна из гипотез может содержать утверждение, что реологическая модель рабочего материала представлена зависимостью следующего вида [4]:

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_s} = \left(1 - \exp \left(-\frac{\gamma}{\sigma_s} \xi_i \right) \right) \exp(-k\theta),$$

где σ_i — интенсивность напряжений, σ_s — напряжение текучести, ξ_i — интенсивность скоростей деформации, γ — динамическая вязкость материала, k — температурный коэффициент, θ — температура.

$\sigma_s/\gamma\xi_i$ — безразмерный комплекс, характеризующий соотношение пластических и вязких свойств материала. Если $\sigma_s/\gamma\xi_i \ll 1$, то преобладают пластические свойства, т. к. при этом $\sigma_i \approx \sigma_s$. В остальных случаях имеем нелинейно-вязкий материал.

Данная модель находится в Базе знаний ИС. Определение коэффициентов модели рабочей среды производится объектно-ориентированной подсистемой Исследования рабочей среды на основе Результатов исследования рабочей среды, сохраненных Подсистемой управления Базой данных и Базой знаний в соответствующей Базе экспериментальных данных.

Рассмотрим более подробно подсистему Исследования рабочей среды, в которой необходимо получить зависимость сопротивления деформации от различных технологических параметров процесса ГМВ. Наиболее распространенным методом построения таких зависимостей является проведение испытаний образцов на растяжение. Однако такая схема испытания для применяемого в качестве рабочей среды пластопарафина является неприемлемой. В связи с этим подсистема Исследования рабочей среды, выполненная с использованием технологий Экспертных систем, предлагает для исследования пластопарафина проведение механических испытаний на сжатие, а также производит выбор испытательного оборудования и сообщает размеры образца, имеющего в данном случае вид цилиндра. Еще одним выходным документом является план проведения эксперимента.

Во время проведения эксперимента возможна автоматическая коррекция плана эксперимента. После получения экспериментальных данных они поступают в обслуживающую подсистему, в которой производится Регрессионный анализ, и вычисляются Коэффициенты модели рабочей среды для выдвинутой гипотезы о Математической модели рабочей среды. После положительного решения об адекватности модели получаем следующее уравнение:

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_s} = (1 - \exp(-11,17\xi_i)) \exp(-0,021 \cdot \theta).$$

Обработка результатов экспериментального исследования идентифицирует зависимость предела текучести пластопарафина от скорости деформации, необходимую для идентификации модели материала и используемую в дальнейшем при Имитационном моделировании процесса ГМВ.

Выводы

Использование входящих в состав системы интеллектуальных процедур позволяет получать и исследовать математические модели ГМВ путем взаимодействия пользователя с системой в режиме диалога, а обработка данных, идентификация или построение математических моделей производятся без участия человека.

В системе применяются процедуры планирования и управления экспериментом, при которых использование моделирования корректирует условия эксперимента, а экспериментальная информация используется для выбора математической

модели из некоторого заданного множества таких моделей.

Результатом функционирования является подтверждение (или отклонение) гипотез или совокупность законченных математических моделей, удовлетворяющая заданным требованиям, а также обработанные результаты исследований, наблюдений и измерений.

Функционирование системы обеспечивает получение выходных документов, содержащих результаты научных исследований и практические рекомендации по совершенствованию исследуемого процесса.

Список литературы

1. Бывальцев С. В. Экспериментально-аналитический метод определения поврежденности композита в процессе вытяжки / С. В. Бывальцев, А. Г. Залазинский, А. П. Поляков // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. — 2008. — № 4. — С. 26–32.
2. Agapitova O. Yu. Theoretical and Experimental Investigation of Hydromechanical Extrusion Process / O. Yu. Agapitova, S. V. Byvaltsev, A. G. Zalazinskiy // American Journal of Mechanical and Industrial Engineering. — 2017. — Vol. 2, no. 1. P. 17–23.
3. Agapitova O. Yu. Mathematical Modeling of Hydromechanical Extrusion / O. Yu. Agapitova, S. V. Byvaltsev, A. G. Zalazinskiy // AIP Conference Proceedings. — 2017. — Vol. 1915. — 040001. — DOI: 10.1063/1.5017349.
4. Агапитова О. Ю. Определение реологических свойств плаstopарафина для моделирования процессов обработки металлов давлением / О. Ю. Агапитова, С. В. Бывальцев, А. Г. Залазинский // Справочник. Инженерный журнал. — 2012. — № 12 (189). — С. 3–5.